

工业园区典型河道生态修复方案

王永平¹, 郭 萧², 刘军民³, 杨金红², 周 游³

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;
2. 江苏沅芷生态环境有限公司, 江苏 南京 210037; 3. 中交河海工程有限公司, 江苏 南京 210012)

摘要:研究首先对河道现场、多参数水质和底质性状进行调查与检测,结果显示:该河属地表劣 V 类水体,水质主要超标因子为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP;底泥属于中度有机质污染,且铜、锌、砷等多个重金属指标严重超标。随后分析了典型工业园区河道的特征,如渠化、水环境容量低、水动力不足和水生态系统单一等。最后因地制宜提出护坡的生态化改造、生态清淤、曝氧增氧、截污工程和水生态系统构建等河道生态修复技术方案。

关键词:工业园区;河道;生态修复

中图分类号:TV85 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2021)02-0001-04

Study on ecological restoration scheme of typical river in the industrial zone

WANG Yongping¹, GUO Xiao², LIU Junmin³, YANG Jinhong², ZHOU You³

(1. *State Key Laboratory of Hydrology – Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;*
2. *Jiangsu Yuanzhi Ecological Environment Co., Ltd., Nanjing 210037, China;*
3. *CCCC Hehai Engineering Co., Ltd., Nanjing 210012, China*)

Abstract: Firstly, the river field, multi-parameter water quality and sediment properties were investigated and detected. The results showed that the river belonged to the surface inferior V water body, and the main exceeding factors of water quality were NH_3N and TP. Sediment was moderately polluted by organic matter, and multiple heavy metal indexes such as copper, zinc and arsenic were seriously exceeded. Subsequently, the characteristics of rivers in typical industrial parks were analyzed, such as channelization, low water environmental capacity, insufficient hydrodynamic force and single water ecosystem. Finally, the ecological reconstruction technology schemes such as ecological transformation of slope protection, ecological dredging, aeration and increase of oxygen, pollution interception project and construction of water ecosystem were put forward according to local conditions.

Key words: industrial zone; river; ecological restoration

近年来,生态环境问题日益受到广大群众的关注,针对河道水质恶化、形态破坏和生态环境失衡等问题开展了大量的研究和实践^[1-3]。特别是《水污染防治行动计划》颁布以后,河道生态修复工作在各地全面铺开。

作为国民经济重要支柱的工业园区,同时也是环境污染的主要源头之一,存在环保管理要求高、污染防治难度大、环境治理技术性强的现实情况,园区内乃至周边区域河道、土壤、大气环境更是环境保护的重点对象。工业园区的河道普遍存在渠

收稿日期:2020-07-06

基金项目:国家水专项课题(2017ZX07203-004);江苏省水利科技项目(2018041);南京水利科学研究院创新团队项目(Y220011)

作者简介:王永平(1982—),男,高级工程师,博士,主要从事水生态修复研究工作。E-mail: ypwang@nhri.cn

化、水浅、水少、流速慢、污染重等特点,环境容量小,生态系统脆弱。因此,工业园区河道生态修复工作与一般河道相比,既具有共性,又有其特殊性。

本文以某工业园区典型河道为例,通过现场采样分析和公式计算等手段,研究了开展水生态修复的方案,以期类似工作提供参考。

1 河道现状

1.1 现场情况

河道口宽 15 m,长约 2 800 m,平均水深 1.1 m,常水位以下砌块石挡墙以上混凝土护坡,闸站系统成熟,引排水较为便捷。河道水面可见工厂管网搭设,河道两侧多设有清下水排放口。两侧以香樟为基础树种,搭配大叶黄杨、云南黄馨和海桐等下层木,乔灌木搭配适宜。

1.2 水质状况

在河道两头及中部间隔约 700 m 共布置 4 个采样点位,水体中 DO、pH 等参数采用多参数水质监测仪现场测定,其他指标依据《水环境监测规范(SL219—2013)》带回实验室分析检测。

由表 1 可知,河道水质主要超标因子为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP,其中 2 号点位 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度高达 7.04 mg/L,有发生轻度黑臭(8 mg/L)的趋势;4 个监测点位的 TP 质量浓度均在 0.3 mg/L 以上,2、3 和 4 号点位的 TP 质量浓度超过 V 类水规定的 0.4 mg/L。根据单因子评价法,该河为地表劣 V 类水体。

表 1 河道水质指标

样点	pH	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{DO})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	SD/cm
1	7.93	7.94	5.82	4.19	0.38	42
2	8.30	4.80	5.53	7.04	0.46	36
3	8.01	5.00	6.63	6.38	0.48	38
4	8.00	5.82	5.90	4.65	0.41	39

1.3 底质状况

在水样相同点位使用彼得森抓泥器采集表层泥样,装入密封的塑料袋后带回实验室,采用烧失量法测定有机质,用 ICP-AES 法测定重金属^[4],测定结果见表 2。

参照《全国河流湖泊水库底泥污染状况调查评价》,该河 1 号和 3 号点的有机质为二级断面、4 号点为三级断面、2 号点为四级断面,属于重度有机质

污染,存在严重的内源释放风险。根据《土壤环境质量标准(GB15618—1995)》,该河底泥重金属除镉和铅外,其余检测指标均存在严重的超标问题。特别是 2 号点位,超标重金属为铜、锌、砷,超标倍数是对应指标三级标准的 1~2 倍。

2 河道特征分析

作为工业园区的典型河道,该河道具有明显的园区河道特征,主要表现在:

(1)河道整洁,整齐划一,硬质护坡,渠化严重,形态笔直。闸站系统完备,水位可控。

(2)水体溶解氧偏低,水环境容量差。水环境容量即水体在环境功能不受损害前提下所能接纳的污染物最大允许排放量,分为稀释容量($E_{\text{稀}}$)和自净容量($E_{\text{自}}$)两部分^[5]:

$$E = E_{\text{稀}} + E_{\text{自}}$$

其中, $E_{\text{稀}} = 86.4 \times (S - C_b) \times Q_r$

$$E_{\text{自}} = 86.4 \times S Q_l (1 - e^{\frac{-kl}{365u}})$$

式中: $E_{\text{稀}}$ 为稀释容量,kg/d; $E_{\text{自}}$ 为自净容量,kg/d; S 为水质标准,mg/L,根据工程目标地表Ⅳ类水水质标准确定; C_b 为河流背景质量浓度,mg/L; Q_r 为河流流量, m^3/s ; Q_l 为河流流量+废水流量, m^3/s ; l 为河段长度,m; k 为综合衰减系数,1/d; u 为河流流速,m/s。计算可得该河道的水环境容量 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为 -17.12 kg/d,TP 为 -0.88 kg/d。

(3)河道内基本无水生植物,游泳动物也很少见,水生态系统单一,脆弱。

(4)受近年来相关环保政策的影响,废污水偷排现象已不可见,河道水体污染物主要来自面源污染和上游径流。但是底泥污染是长期沉积的结果,因此受园区企业的特征污染物影响明显。

(5)日常期间河道水动力不足,河水流速很慢,影响自净能力。

表 2 河道底质指标

采样点	有机质/ %	$\omega(\text{Cu})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Zn})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cr})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cd})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Pb})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{As})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Hg})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	2.15	93	279	45	0.14	11	9.75	0.206
2	10.68	656	446	72	0.08	17.2	54.60	0.742
3	2.46	30	79.4	35	0.14	10.7	8.89	0.074
4	4.74	53	140	52	0.18	11.5	19.70	0.113

3 生态修复方案

3.1 护坡的生态化改造

护岸结构选型首先考虑结构的安全可靠性和经济性,除了满足防汛除涝的功能要求外,还应考虑河道沿岸的周边环境、河道的景观生态效果等,充分发挥河道在防洪、排涝、改善周边环境等方面的综合功能。

该河道选择聚氨酯生态护坡,是利用环保型堤岸聚氨酯优良的物理学及粘结性能,将普通碎石(包括卵石)强化整合成一个坚固、稳定、孔隙率高的弹性结构,有很高的抵御水流冲刷能力。聚氨酯生态护坡通过了英国饮用水监督管理局的饮用水源地安全使用认证,对环境无污染,孔隙率为 40%~50%,多孔结构有助于植被生长,并且可以为河流中的底栖生物提供栖息地。另外,堤岸聚氨酯生态护坡可以机械化施工,大幅缩短了施工时间,降低整个工程的造价。

3.2 生态清淤

清淤是快速消除河道内源污染的重要手段之一。由于河道两岸基本为厂区,且部分河段没有达到口宽,大型机械船舶无法进入进行疏浚,因此采用水力冲挖的清淤方式。同时,针对底泥中含有机质污染和重金属超标等特点,为杜绝出现淤泥处置不当而引发二次污染等问题,对水力冲挖产生的淤泥采用土工袋高干脱水技术进行固化和资源化利用。

3.3 曝氧增氧

河水中溶解氧的含量是反映水体污染状态的一个重要指标,受污染水体溶解氧浓度变化的过程反映了河流的自净过程。

河道治理需氧量计算^[6]:

$$Q = V \times [0.7 + 1.7(\rho_{0\text{COD}} - \rho_{\text{eCOD}}) + 4.57(\rho_{0\text{NH}_3\text{-N}} - \rho_{\text{eNH}_3\text{-N}}) + 1.2(\rho_{0\text{DO}} - \rho_{\text{eDO}})]$$

式中: V ,治理水量(河长 \times 河宽 \times 水深), m^3 ; ρ_0 、 ρ_e ,

分别为治理前和要求达到的质量浓度, mg/L 。

太阳能曝气机数量计算^[6]公式为

$$n = \frac{Q}{w \times P \times t \times m \times 25\% \times 10^3}$$

式中: w 为氧传输效率,取 25%; P 为曝气增氧机功率 kW ; t 为曝气增氧机每天工作时间; m 为要求工作 m 天后达到目标。

该河曝气主要用于提高水体溶解氧,要求治理河道各断面水层长久保持溶解氧质量浓度在地表Ⅳ类水以上。根据计算,在沿河道中心线每间隔 50 m 布置太阳能曝气机,提高底层水体溶解氧质量浓度,恢复和增强底层水体中好氧微生物的活力,提高细菌在好氧环境下吸磷水平,使水体中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 污染物得以净化,从而改善河流的水质。

3.4 截污工程

由于园区已做相应截污纳管工程,且对现有雨水及清下水排口的监测未见水质指标明显升高,因此该河道不涉及点源污染处理。

河道两侧基本为厂区,面源污染主要来自降雨造成的地表径流,须加强两侧河岸底层绿化作为缓冲带,部分河道地表裸露区段做“海绵化”处理。针对河南侧大面积地表黄土裸露现象,为减少泥沙入河和丰富景观效果,在该侧布置生态植草沟,减少地表径流污染。植草沟采用简单实用的“海绵体”设计,由上至下依次设置有蓄水层(20 cm)、种植土层(20 cm)和素土夯实层。

3.5 水生态系统构建

重建河道水生态系统是河道生态修复的重要内容,也是实现河道水质自净的关键。该河道中,水生态系统构建的第一步投放适量肉食性鱼类,如乌鳢等,以减少草食性鱼;随后喷洒环境友好型絮凝剂,提高河水的透明度;然后在河道内种植矮生苦草、伊乐藻等沉水植物;最后投放适量河蚬、环棱螺、无齿蚌和日本沼虾等水生动物,构建和谐、稳定

的水生态系统。

4 小结与讨论

4.1 工业园区开展河道生态修复的特殊性

改革开放以来,中国快速形成了以工业园区为主体的工业发展体系,工业园区建设是地方实现跨越发展和经济腾飞的助推器。工业园区为所在地经济发展作出贡献的同时,也是资源消耗和污染排放的大户,不同程度上对自然生态环境产生影响^[7]。在生态文明建设逐渐深入人心的今天,各地工业园区都在通过加强生态环境保护和治理,实现由生态破坏型向生态友好型开发模式转变,推动绿色集约发展。

工业园区水污染的行业性、复合性和区域性特征明显,对工业园区水污染集中治理的研究甚多,“水十条”以及新的《水污染防治法》也从政策方面对工业园区污水集中处理提出了相关要求。但是,相对于“中小河流治理”和“黑臭水体治理”等项目大范围的展开,园区内河道治理尚缺乏力度,也缺少科学的指导。

工业园区河道由于其自身特点,其生态修复治理也存在着特殊性。主要体现在:①与大部分城镇河流一样,工业园区河道渠化现象比较普遍,因此,硬质护坡的生态化改造是一个重点内容。②虽然现在大部分园区都实现了污水纳管,但是长久以来沉积的河道底泥释放,以及大气沉降和工厂雨水径流等,使进入河道的污染物不仅有常见的氮、磷营养盐,还有跟厂区产品产业链相关的化工类物质,使河道污染物成分比较复杂且特殊。因此生态修复时水生动植物选种时必须做好小试,有针对性地选择。③工业园区河道的闸站系统一般都很完善,这样一方面造成河流水动力不足,影响自净能力,另一方面有利于生态修复水生植物种植时进行水位控制。

4.2 河道生态修复的发展趋势

西方发达国家由于较早得完成了工业化、城市化过程,河流管理已达到很高的水平,已进入“生态水利”或“环境水利”的高级阶段^[8]。早在 1938 年,德国的 Seifert 首先提出“亲河川整治”概念,到 20 世纪 50 年代,正式创立了“近自然河道治理工程学”^[9],在瑞士,这种方法被称为 Naturan 和 Wasserbau^[10]。日本 1997 年对《河川法》进行修改,提出“多自然型河流治理法”^[11]。美国在 20 世纪 70 年

代以后经历了内河水资源管理模式的转换,与自然相协调的可持续的内河护坡景观管理理念得以确立。目前,我国城市河道生态修复也取得了很大的成绩。各个城市对河道生态环境建设力度也越来越大,从以水利治水为主到景观绿化、水利建设、防污、治污等多方面的综合治理,从单一水利部门到住建、市政、园林、规划和生态环境等多部门参与建设。

由于生态修复的核心是生物,是用自然做功,这也就带来很多不确定性。作为目前的一个热点,河道生态修复技术种类繁多,国家也有相应的技术指南。开展河道生态修复工作实际已成为一项门槛似底实高的工作。因此,在吸取大量教训后,大多数生态修复方案遵循当前“先改善环境,后修复生态”的主流思想,围绕生态护坡、削减污染、生态系统和水动力改善等方面开展。而经过这么多年的发展,不仅是生态修复理念逐渐成熟,其科学性和研究手段也在不断进步,如通过各种河网模型,各种技术方案的制定逐渐从定性走向定量或半定量,尽可能地通过数学手段介入生态系统,使方案更具有操作性和可行性。

参考文献:

- [1] 李明传. 水环境生态修复国内外研究进展[J]. 中国水利, 2007(11):25-27.
- [2] 陈兴茹. 国内外河流生态修复相关研究进展[J]. 水生态学杂志, 2011(5):122-128.
- [3] 董哲仁, 孙东亚, 彭静. 河流生态修复理论技术及其应用[J]. 水利水电技术, 2009(1):4-9.
- [4] 刘恩峰, 沈吉, 朱育新, 等. 太湖沉积物重金属及营养盐污染研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(3):507-512.
- [5] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R], 北京:中国环境规划院, 2003.
- [6] 杭州市市区河道监管中心, 浙江农林大学. 杭州市城市河道生态治理常用技术要点及养护要求手册[S]. 2012.
- [7] 开发区“闽八条”为转型支新招[N]. 人民日报(海外版), 2010(9).
- [8] 宋庆辉, 杨志峰. 对我国城市河流综合管理的思考[J]. 水科学进展, 2002, 13(3):377-382.
- [9] 董哲仁. 生态水工学—人与自然和谐的工程学[J]. 水利水电技术, 2003, 34(1):14-17.
- [10] (美)城市土地研究学会编, 马青等译. 都市滨水区规划[M]. 沈阳:辽宁科技技术出版社, 2007.
- [11] 山本昌宏. 河川环境行政的课题と展望[J]. 水环境学会志, 1998, 21(8):10-13.